

목조건축물 문화재 방재를 위한 무인항공기(드론) 사진측량 정보 수집 연구

A Study on the Photogrammetric Data Acquisition for the Disaster Prevention of Wooden Architectural Properties with Unmanned Aerial Vehicles(UAV)

○고 명 환* 강 석 진**
Ko, Myong-Hwan Kang, Seok-Jin

Abstract

This study seeks the application of 3D photogrammetry data from unmanned aerial vehicles(UAV) for the process of collecting environment-related information at wooden architectural properties and its ensemble. Two Hyanggyo sites of Gonyang and Dansung both located in Gyeongsangnam-do, where wooden cultural properties are clustered, were surveyed with an UAV aircraft for mapping. The 3D photogrammetry data were processed with Pix4D Cloud, a SaaS platform to provide a commercial service of image processing for orthophoto, 3D reconstruction, and DSM(Digital Surface Model), all of which can be applied into disaster prevention practices as reliable volumetric survey data.

키워드 : 목조건축물 문화재, 방재, 무인항공기, 3차원 사진측량

Keywords : Wooden Architectural Properties, Disaster Prevention, Unmanned Aerial Vehicles, Three-dimensional Photogrammetric Survey

1. 서론

재해는 역사적 맥락을 포함한 문화재 가치를 훼손시키고 이를 수복 및 복원하는 비용 등 사회·경제적인 영향이 막대하므로 예방과 대응 어느 한쪽도 소홀히 하기 어렵다. 문화재 방재는 기후변화를 포함한 다양한 영향으로 인한 자연 재난과 의도적·비의도적 훼손으로 인한 사회 재난(Lee & Park, 2016)으로부터 피해를 예방하는 것으로, 문화재 방재역량 강화를 위해서는 “재난 경감을 위한 사전활동”과 “종합적인 재해예방과 재난관리”(Lee & Park, 2016)가 중요하다. 방재환경은 문화재가 위치한 지리 및 지형, 방재설비(소방 및 방법), 현장 안전관리 및 방문자 이용행태 등 물리적·인문적 환경을 의미한다(문화재청, 2017). 실태조사¹⁾와 모니터링 활동을 통해 파악된 문화재 방재환경 정보는 문화재 일상 관리와 안전조치 등을 위해 매우 중요한 요소가 된다.

* 경상국립대 대학원 박사과정

** 경상국립대 건축학과 교수, 공학박사

(Corresponding author : School of Architecture, Gyeongsang National University, cpted@gnu.ac.kr)

¹⁾ 실태조사 범주는 기관 조사(국립문화재연구소의 정기조사, 문화재 보호법에 의거한 문화재 위원회의 조사 및 동법 45조 문화재청장 직권 조사)와 개인(학회 등) 조사를 모두 포함.

이에 본 연구에서는 목조건축물 문화재 방재를 위한 정보 수집을 위해 무인항공기(드론)를 활용한 3차원 사진측량과 정보의 활용 방법을 탐색하고자 한다. 이를 위한 연구의 내용은 다음과 같다. 첫째, 문헌 고찰을 통해 기존 안전관리의 문제점 규명 및 무인항공기 측량 기술의 특징을 고찰한다. 둘째, 사진측량 방법의 이해를 위해 관련 기술의 흐름 및 디지털 사진측량(digital photogrammetry) 기술의 원리와 영상 정보처리 과정에 대해 고찰한다. 셋째, 목조건축물 문화재가 군집한 향교 2개소(경상남도 소재) 주변을 드론으로 측량하고 방재의 관점에서 활용 방안을 모색한다.

2. 문헌 고찰

2.1 문화유산 현장 안전관리 관련 선행연구 분석

문화유산 현장의 안전 또는 재난관리 및 방재와 관련된 국내 학술지 및 기관보고서를 살펴보면, 문화유산이 위치한 환경, 방재설비, 현장의 관리상태 및 등에 대한 정보를 파악하고 대안 및 개선 방안을 제시하고 있다(표 1).

그러나, 대부분 체크리스트를 활용한 실태조사 수준에 그쳐 문화재 현상변경²⁾ 같은 변화를 반영하지 못하거나

²⁾ 현상변경이란 “문화재 원래의 모양이나 현재의 상태를 바꾸는 모든 행위로서 문화재의 생김새·환경·경관·대지 등 문화재를 둘러싸고 있는 주변 환경에 직접 또는 간접적으로 영향을 주는 조건이

건축도면, 사진 등 2차원적인 정보로만 성과물을 제작하여 실효성 있는 재난 상황 대응에는 한계가 있을 것으로 판단된다. 따라서, 문화유산의 환경과 방재설비의 성능을 정량적으로 판단할 수 있는 3차원 정보 수집이 매우 중요함을 알 수 있다.

표 1. 문화유산 현장 안전관리 선행연구 비교

저자(년도)	정보수집 형태 / 조사 정보 내용
Koo W. H. & Baek M. H. (2019)	조사표(체크리스트) 조사, 육안조사(사진) , 소유자 및 관리자 인터뷰 조사 / 재난 이력, 방제시설, 안전점검 형태 , 방재매뉴얼, 소방계획서, 방재교육 및 훈련, 소방안전관리자 배치유무 방재보험 가입유무 등
Cho H. S. et al (2019)	조사표(체크리스트) 조사(정기조사 형태) / 소방 및 안전시설 관리상태, 가스시설, 소방시설 등
Song C. Y. & Koo W. H. (2022)	조사표(체크리스트) 조사 및 육안조사(사진) / 재난 이력, 방제시설, 주변지형, 안전점검 형태 , 방재매뉴얼, 방재교육 및 훈련, 방재보험 가입유무 등
문화재청 (2023)	조사표(체크리스트) 조사 및 육안조사(사진) / 재난 이력, 건축설비(화기), 운영정보, 방제시설, 안전점검 형태 등

2.2 문화재 현장 무인항공기 측량 활용 연구

무인항공기를 활용하여 문화재 현장을 측량한 연구를 고찰한 결과, 지형상 직접 접근이 어렵고 광범위한 지역의 문화유산 실측 및 지붕과 같은 건축물의 외형을 상공에서 실측하는데 드론이 유용한 것으로 나타났다.

표 2. 문화유산 현장 무인항공기 측량 선행연구 비교

저자(년도)	주제 / 무인항공기 유형
Kim, J. W. & Lee, W. H. (2017)	문화재구역 모니터링을 위한 사례연구 / 드론 - MikroKopter Okto(SONY a6000)
Kim J. W. et al (2018)	문화재 지정구역 경관관리기법 연구 / 드론 - MikroKopter Okto(SONY a6000)
Jung R. K. et al (2019)	근대문화재 관리를 위한 BIM 모델구축 / 드론 - Phantom 4 Pro V2.0
Beak S. H. & Jang C. S. (2021)	드론 및 레이저스캐너 측량 결과 비교 / 드론 - Phantom 4 Pro V2.0
Lee Y. H. et al (2023)	조간대 수중문화재 조사를 위한 사례연구 / 드론 - Matrice300 RTK

김동현 외 2인(2020)과 박지민(2021)의 연구에서도 문화재 재난·안전 분야에서 드론이 화재감시, 화재진압³⁾에 유리한 것으로 전망되었고, 소방·경찰·해경에서 특수 임무 분야에 활용되는 드론과 비교하여 문화재 재난·안전 분야에서의 활용방안 및 기준도 제시되었다. 이상의 선행연구들을 통해 활용 가치가 높은 무인항공기는 특히 측량의 관점에서 문화유산 현장(문화재 및 주변 환경)의 신뢰성 높은 정보 수집에 유용함을 알 수 있다.

3. 무인항공기 사진측량 기술의 흐름

3.1 문화유산 기록 관점에서 사진 측량학의 시초

사진 혹은 영상 측량학을 의미하는 포토그래메트리

(Photogrammetry)는 프로이센의 건축가 알브레히트 메이텐바우어(Albrecht Meydenbauer)가 1867년 12월 건축저널에서 소개한 용어로서(J. Albertz, 2001), 당시 아이메 로세다트(Aimé Laussedat)와 메이텐바우어 등이 사용하고 있던 사진 측량술⁴⁾을 통칭하는 단어가 되었다. 비슷한 시기 프랑스의 사진작가 나다르(Nadar)가 1868년에, 소설가 에밀 졸라(Emil Zola)가 1900년에 열기구에 탑승하여 파리 모습을 항공사진으로 촬영한 사례도 있다. 이후 1889년 미국의 라이트 형제의 비행기 발명과 2차세계대전을 거치며 항공사진 측량학이 발달하였다.

메이텐바우어가 1885년 베를린에 설립한 왕립 측량학교(Königlich-Preussische Meßbildanstalt)는 측량기술자를 교육하고 독일 각지의 문화유산 기록화를 위한 조사 수행하는 기관이었는데, 독일이 1차세계대전에서 패망한 이후에는 경제적 이유로 미술 서적이나 사진엽서를 발간하는 공립영상원으로 변모하였다(J. Albertz, 2001).

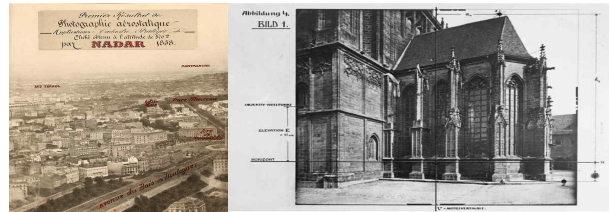


그림 1. 파리 항공사진(1868)(좌), 쾰른 대성당 실측사진(우)

(출처: BnF SCIENCE FOR ALL 1850-1900 - ORDINARY AND EXTRAORDINARY JOURNEYS 온라인 전시(좌측), 브란덴부르크 주 기념물 보존청 측량이미지보관소 보관일련번호 27 i 2/ Z.V.3a-4a(우측))

이후 1969년 측정과학 기술의 기록화 분야 적용을 위해 국제 사진 측량협회 및 원격탐사 협회가 공동으로 국제 건축 사진측량 협회(Comité International de Photogrammétrie Architecturale, CIPA)를 설립하였고 국제기념물협의회(ICOMOS)의 과학 자문 기관으로 활동하게 되었다(P. Waldhaus, 2019).

3.2 문화유산 보존 관련 국제현장과 문화유산 기록물

문화재 기록의 중요성에 대한 인식이 전환된 계기는 1931년(아테네 회의)과 1964년(베니스 회의)에 개최된 ‘역사적 기념물에 관한 건축가 및 기술자 국제회의’이다. 이들 회의에서 ‘문화유산의 개념과 보존 원칙과 기법’, ‘세계적 공동유산의 개념’, ‘국제적 협력 방안(ICOMOS, 1931)(이하 아테네 현장)’, ‘역사적 및 물리적 맥락의 보존’, ‘진정성(Authenticity) 개념(ICOMOS, 1964)(이하 베니스 현장)’이 현장에 수록되었다. 특히 두 현장에서는 문화유산의 기록을 위해 사진과 분석 보고서를 작성하도록 권고하고 있다.

나 현 상태에 영향을 주는 일체의 행위”를 말한다(문화재청, 2004).

³⁾ 자동원격 무인 비행기능이 있는 드론은 자동 재해탐지와 실시간 정보 전송을 통해 화재 상황 판단에 도움이 되며, 드론이 소방장비를 운송하거나 소화탄, 소화약제 분사를 함으로써 화재 대응이 가능하다(Kim et al, 2020).

⁴⁾ 19세기 중후반 측량 사진기의 형태는 현대의 측량 사진기와 유사한 특징을 보인다. 십자선 이미지가 그려진 좌표계와 중앙에 고정된 초점을 가지며, 삼각대에 수직으로 세워 피사체가 수직으로 보이게 촬영한다(J. Albertz, 2001).(그림 1의 오른쪽 사진 참조)

표 3. 문화유산 보존 관련 국제현장 내 문화유산 기록 관련 내용

현장	조문(상세내용)
아네테 현장 (1931)	기념물 보존과 국제협력 (1. 문화유산 관계기관은 사진과 설명문이 담긴 형식으로 기념물의 등재 목록을 공표 2. (역사적 기념물과 관련된) 모든 공식 기록물을 관리 3. 국제박물관 사무소가 출판물의 보관 4. 국제 박물관 사무국의 간행물 5. 추후 집중화된 정보를 활용하는 연구가 필요함)
베니스 현장 (1964)	출판 (제16항 모든 보존, 복원 또는 발굴 작업에는 그림과 사진으로 설명하고 분석하는 보고서가 있어야 함. 작업과정에서 확인된 기술적, 형식적 특징과 정리, 통합 작업의 모든 단계가 수록되어야 함. 보고서는 책자의 형태로 발간되어야 하며, 연구자들에게 이용이 가능하도록 공공 기록관리소에 보관하도록 함.)

3.3 디지털 측량과 드론 사진측량

광학과 센서 기술의 발달로 문화유산 기록에 이용할 수 있는 정밀 디지털 기기의 유형이 다양해짐에 따라, 기록을 위해서는 측량 성과물의 목적과 정밀도, 영상 이용 여부 등을 고려하여 기술이나 기기를 선택하게 된다(안재홍 & 김충식, 2016).

표 4. 사진측량 기법의 비교

구분	기록방식		
	직접	간접	복합
기술	비영상 기반	경위의, GPS 토달스테이션, 등 지상 레이저 스캐닝(광대역)	구조광(LED) 스캐너
	영상 기반	현장사진	디지털 사진측량(드론, 파노라마, 근접사진, 정사사진)

(출처: 안재홍 & 김충식 2016, p.82 및 Hassani F., 2015, p.208를 바탕으로 정리)

드론 사진측량은 사진영상과 GPS 기술을 이용한 측량 방법이다. 드론은 측량 대상 지상물 또는 상공에 계획된 비행경로를 따라 다수의 사진을 촬영하고, 사진들 가운데에서 점군 정합(point cloud registration)을 수행하여 3차원 재구성 영상(rendered image) 및 정사사진(orthophoto)을 취득할 수 있다. 드론에 내장된 실시간 위치 관제 GPS 수신기는 인공위성과 무선통신 수신기 등과 송수신하면서 드론이 촬영하는 사진에 위치정보를 함께 저장한다. 영상처리 소프트웨어는 영상처리 시에 GPS 수신기로부터 취득한 공간 위치 정보를 활용하며 영상 처리된 3차원 재구성영상(조밀점군 영상, 메쉬 객체)과 정사사진을 벡터모델(vector model) 형태로 출력하여 공간자료모형화⁵⁾ 작업에 도움을 준다.

4. 목조건축물 현장 드론 사진측량

4.1 조사 대상 목조건축물 개요

목조건축물 문화재 중에서 주변에 목조건축물이 군집한 유형은 사찰, 향교, 서원, 관아건축물, 민가 등이 있다. 본 연구에서는 경상남도의 향교 2개소와 주변의 목조건축물

에 대해 드론 사진측량을 수행하였다.

표 5. 조사대상 목조건축물 문화재

소재지	사천시 곤양면	산청군 단성면
소재 문화재	곤양향교(도 유형문화재)	단성향교 명륜당(보물) 단성향교(도 유형문화재)
대상지 전경		
환경	공통으로 산지에 위치하며, 문화재 주변으로 민가가 위치	

4.2 드론 사진측량 및 데이터 구축·처리



드론 사진측량에 사용된 소형 UAV는 DJI사(社)의 Phantom 4 RTK이며, 디지털 데이터의 취득은 내장된 카메라를 활용하였다(표 6).

표 6. 사진측량 드론(Phantom 4 RTK)의 특징

	무 게	약 1.39kg
	크 기	대각선 350mm
	배터리 용량	5870mAh
	송신거리	약 5KM
	카메라	1" CMOS, 20M Pixel(유효)
주파수	L1/L2, GLONASS: L1/L2, BeiDou: B1/B2, Galileo: E1/E5a	

두 문화재 현장에서 취득한 원시자료(사진)의 영상처리를 위하여 SaaS(서비스형 소프트웨어) 플랫폼인 Pix4D Cloud를 이용하였다.

표 7. 드론 사진측량과 데이터 영상처리 개요

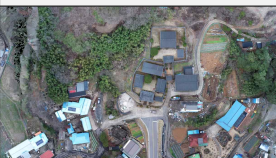



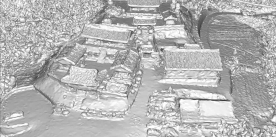

	사천 곤양향교	산청 단성향교
측량면적	0.061km ²	0.038km ²
비행시간	0h:15m:44s	0h:23m:11s
촬영매수	333매	355매
촬영경로		
기준해상도	2.12 cm/pixel	1.97 cm/pixel
영상처리 환경	클라우드 시스템(Pix4D Cloud) CPU: Intel(R) Xeon(R) Platinum 8124M CPU @ 3.00GHz RAM: 69GB / GPU: no info (Driver: unknown) Linux 5.15.0-1055-aws x86_64	
기준 좌표계	WGS 84 / UTM zone 52N	
점군 집약	0h:31m:01s	0h:25m:25s
메쉬 제작	0h:11m:46s	0h:11m:00s
DSM 제작	0h:07m:10s	0h:04m:14s
정사사진 제작	0h:18m:43s	0h:18m:57s
총연산 시간	1h:08m:40s	0h:59m:36s
해상도(MP)	143.88	108.09
점군처리 정보	3D 조밀 점군 24,751,813개 평균 밀도 501.36m ³	3D 조밀 점군 23,245,878개 평균 밀도 724.74m ³

해당 플랫폼은 원시데이터 및 제작물의 저장·송수신, 영상 연산 처리(2D-정사영상, 수치표면모형(DSM), 3D-조

⁵⁾ 공간자료모형이란 실존 공간의 대상 및 현상을 GIS 데이터로 재구성하여 나타난 것으로서, 객체 기반모델(점·선·면 벡터 그래픽 형태)과 픽셀(pixel) 형태의 필드 기반모델이 있다.(국토지리정보원, 2016)

밀점군영상, 메쉬모델), 시계열 비교, 협업 기능(수치 주석, 설계 프로젝트 중첩 등)을 제공하고 있어 건설, 교통, 산업, 농업, 해양 등 다양한 분야에 필요한 지형과 지장물의 측량에 이용할 수 있다. Pix4D Cloud 플랫폼이 수행한 영상처리의 결과물은 정사사진(.TIF), 조밀점군 영상(.LAS), 메쉬객체(.OBJ 외) 등이다. 연산 처리된 영상파일은 벡터 기반 영상 데이터이기 때문에 AutoCAD 및 Revit 등에서 불러오게 하여 다양하게 활용할 수 있다.

표 8. 영상처리 결과물의 비교

유형	곤양향교	단성향교
정사사진 (.TIF)		
조밀점군 영상 (.LAS)		
메쉬 객체 (.OBJ, .MTL, .JPG, .XYZ)		

5. 결론

본 연구는 목조건축물 문화재 현장의 방재 및 안전관리 활동을 돕기 위한 정보 수집을 위해서 무인항공기(드론)을 활용한 3차원 사진측량과 정보의 활용 방법을 탐색하였다. 20세기 과학기술의 발달로 시작된 항공사진측량 기법은 약 100년이 지난 현재 정밀 센서와 광학 기술 등을 기반으로 한 초소형 무인항공기 사진측량 방식으로 상용화되었다. 드론 사진측량으로 취득한 정밀 영상 데이터는 우수한 해상도와 함께 위치정보를 포함하고 있어 다방면에서 활용이 기대되며, 특히 PC와 태블릿에서 범용 설계 프로그램을 활용한 문화재 방재업무(방재 설비계획, 유지관리, 방재환경평가 등)에도 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 국토지리정보원, 공간정보 용어사전, 2016
2. 문화재청, 문화재 현상변경 실무 안내집, 2004
3. 문화재청, 문화재 현장 안전관리 모니터링 보고서, 2017
4. 안재홍 & 김충식, 디지털 유산 문화유산의 3차원 기록과 활용, 2016
5. Albertz, J. (2001). Albrecht Meydenbauer – Pioneer of Photogrammetric Documentation of the Cultural Heritage, Proceedings 18th International Symposium CIPA, 19-25.
6. Hassani, F. (2015). Documentation of Cultural Heritage

Techniques, Potentials and Constraints, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 40-5(7), 207-214.

7. ICOMOS, The Athens Charter for the Restoration of Historic Monuments, 1931
8. ICOMOS, International Charter for the Conservation and Restoration of Monuments and Sites(the Venice Charter), 1964
9. Kim, D. H. & Lee, J. H. & Chun, W. Y. (2020). A Study on Application of Unmanned Aerial Vehicles(UAV) in the Disaster and Safety Field of Cultural Properties, Journal of the Society of Cultural Heritage Disaster Prevention, 5(3), 225-232.
10. Kim, J. Y. & Kim, Y. J. (2021). Overseas Trends in Climate Change Responses for Cultural Heritage and Implications, Journal of the Society of Cultural Heritage Disaster Prevention, 6(1), 47-56.
11. Lee, Y. K. & Park, M. L. (2016). A Study on education direction of the cultural heritage disaster prevention and construction of the program, Journal of the Society of Cultural Heritage Disaster Prevention, 1(1), 29-36.
12. Park J. M. & Choi, Y. J. (2021). Utilization of Drone for Strengthening Safety Management of Wooden Cultural Assets : Focused on Fire Prevention, Korean Security Journal, 67, 217-234.
13. Waldhäus P. (2019). Foundation and fundamentals of CIPA in memory of Maurice Carbone(1923-2015) and Hans Foramitti(1923-1982), The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42-2(14), 45-47.